Aus der
Chirurgischen Universitätsklinik zu Königsberg i. Pr.
(Direktor: Prof. Dr. Kirschner).

Experimentelle Untersuchungen über das Knochenwachstum.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Albertus-Universität zu Königsberg i. Pr.
vorgelegt von
Emil Bahl
aus Danzig.
1927

Druck von Rudolf Gruel, Inh. Paul Bork, Königsberg i. Pr.

Referent: Prof. Dr. Schubert.

Seit man durch einzelne klinische Beobachtungen darauf aufmerksam wurde, daß das Wachstum der Knochen sich aus den Bahnen, die ihm durch Vererbung vorgeschrieben sind, nach dieser oder jener Seite ablenken läßt, hat man auf alle erdenkliche Art und Weise versucht, diese Abweichungen in bestimmte Regeln zu zwingen. Hauptsächlich handelt es sich um die Frage des Einflusses von Zug und Druck auf das Knochengewebe. Es wurden Meinungen laut, die so weit gingen, für das lebende Gewebe die Folgen äußerer Einwirkungen zahlenmäßig berechnen zu wollen. Dann fiel aber hier und dort eine Wachstumsveränderung auf, die nicht nach diesen Gesetzen zu erklären war, für die man eben das Besondere des Lebenden in den Vordergrund stellen mußte.

Ich will versuchen, die Entwicklung an Beobachtungen am Krankenbett und Tier mit den daraus gezogenen Schlüssen darzustellen.

Eine Reihe von Versuchen beschäftigte sich zunächst mit dem Einfluß des Muskelzuges auf wachsende Körperabschnitte. Engel, Fick, Lesshaft und Anthony entfernten den Schläfenmuskel, ohne eine Veränderung zu erreichen; oder

sie sahen den Schädel sich auf dieser Seite stärker wölben und dickerwandig werden. Die Muskelansatzleiste war dabei nach der muskellosen Seite abgewichen. Fick beobachtete nach Ausfall des Wangenkaumuskels ein Zurückbleiben der Schädelhälfte, während v. Gudden, der diese Versuche nachprüfte, berichtet, daß die Kopfknochen sich nach der Seite des fehlenden Muskels vordrängten. Auch das Ausziehen von Zähnen hatte eine Verkrümmung des knöchernen Schädels zur Folge, dergestalt, daß auf dieser Seite die Knochen stärker wuchsen, was schon von v. Gudden festgestellt und durch Lesshaft bestätigt wurde. Brücke sah nach einseitigem Ausreißen des Gesichtsnerven ein Zurückbleiben der betreffenden Gesichtshälfte im Wachstum und gleichzeitig eine Skoliose des Schädels auftreten, deren Konkavität nach der gelähmten Seite gerichtet war. Seiner Ansicht, daß diese Verbildung des Gesichtsschädels als eine Folge des fehlenden Muskelzuges aufzufassen sei, stimmt späterhin auch v. Gudden auf Grund weiterer Versuche bei. Einen großen Einfluß auf die Formgestaltung der Schädelknochen sprach Nyström den Muskeln zu, besonders der Nackenmuskulatur, für das Zustandekommen von Lang- und Kurzschädeln. Mit der Wirkung der am Hinterhaupt ansetzenden Muskeln, denen außer Nyström schon Engel einige Bedeutung beigemessen hatte, beschäftigte sich G. Neubauer. Sie beobachtete nach halbseitiger Ausschaltung der Nackenmuskeln ein Zurückbleiben der vom Muskelzug befreiten Schädelhälfte. Erhebungen

und Leisten traten weniger hervor, auch blieb das Gewölbe flacher.

Bekanntlich wird auch die Gesichtskoliose bei Schiefhals auf den verstärkten Zug des krankhaft veränderten Kopfnickers zurückgeführt. Ist es schon auffallend, daß im Gegensatz zu den vorher erwähnten Versuchen von Neubauer hier der verstärkte Muskelzug die Skoliose des Gesichtes bedingen soll, so lehnt Schubert diese Anschauung vornehmlich deshalb ab, weil in den meisten Fällen ein starkes Mißverhältnis zwischen dem Grade der Kopfnickerverkürzung und dem Grade der Gesichtsskoliose besteht. Engel fand ferner bei verstärktem Muskelzug eine auffallend frühe Verknöcherung der Schädelnähte, in der er eine Schutzvorrichtung der Natur gegen übermäßige Inanspruchnahmen sah. In meinen weiter unten angeführten Versuchen fand ich diese Angabe bestätigt.

Das Ergebnis dieser am Schädel angestellten Untersuchungen ist um so eindeutiger, als im Gegensatz zu den Gliedmaßen hier die Deutung der Befunde weniger durch funktionelle aus dem Fortfall der Muskeln sich ergebende Störungen beeinflußt wird. Einigermaßen einwandfreie Untersuchungen dieser Art an Gliedmaßen sind deshalb gezählt.

So fand Lesshaft bei einseitiger Exarticulation eines Beines im Hüftgelenk ein Zurückbleiben des ganzen Beckens im Längenwachstum, was seiner Ansicht nach im wesentlichen durch Ausfall der Funktion zu erklären ist. v. Frisch entfernte von zwei im entgegengesetzten Sinne das Längen-

wachstum eines Knochens beeinflussenden Muskelgruppen, die eine und glaubte durch eine derartige Ausschaltung des Antagonisten ein vermehrtes Auswachsen des Knochens nach der Richtung des bleibenden Muskelzuges erreichen zu können. So kam es beispielsweise nach Auslösung eines Hinterbeines samt den zur Hüfte ziehenden Muskeln nicht zu einer Verlängerung des Darmbeinkammes.

Vielfach wurden experimentelle Versuche über den Einfluß des Muskelzuges auf die Gestalt der Knochen an der Wirbelsäule angestellt, vornehmlich zur Klarlegung der die Skoliose bedingenden Ursachen. Schon frühzeitig schlug Guérin vor, die seitliche Rückgratverkrümmung mit Durchschneidung der Rückenmuskulatur der Hohlseite zu behandeln. Bei tiefem Sitz der Krümmung hat Krukenberg den inneren Lendenmuskel (Psoas) als Ursache angesehen und durchtrennt. Dabei stütze man sich auf alte Beobachtungen von Messner, der Wirbelsäulenverkrümmungen mit der Konvexität nach der gesunden Seite nach Kinderlähmung geschildert hatte. Schultheß und Kirmisson fanden allerdings bei genauer Untersuchung der Muskeln solcher Kranken, daß auf der Hohlseite der Krümmung die Muskulatur schwächer, ja fettig entartet war, während sie auf der konvexen Seite stärker ausgebildet war. Als reine Wirkung einseitig fehlenden Muskelzuges war solch eine Verbildung also nicht zu erklären, zumal man auch bei einseitigen Rückenmuskelrissen eine nach der kranken Seite konkave Wirbelsäulenverkrümmung entstehen sah.

Zuckerkandl und Erben glaubten in der Verbiegung der Wirbelsäule eine Schutzstellung zu sehen. Vielleicht kann man dies auf viel einfachere Weise erklären: Faßt man die Wirbelsäule als einen durch zwei lange Drahtseile gespannten Mast auf, so besteht bei Fortfall eines Drahtzuges die Gefahr daß der Mast nach der anderen Seite umsinkt. Dieses Umsinken kann aber vermieden werden, wenn der Mast nach der Seite des fortgefallenen Drahtzuges hinübergelagert wird. Unter Anwendung dieses Prinzipes ergibt sich eine Erklärung, warum auch die Wirbelsäule nach der gelähmten Seite hinüberfällt und eine mit der Konvexität nach der gesunden Seite gerichtete Skoliose entsteht.

Diese bei poliomyelitisch gelähmten Kindern gemachten Feststellungen konnte Arnd im Tierversuch bestätigen. Er entfernte ein Stück der Rückenmuskulatur und erhielt eine nach der muskellosen Seite konkave Wirbelsäulenverbiegung. Allerdings konnte Frey bei Nachprüfung dieser Versuche keine derartigen Ergebnisse erzielen. Er ist der Ansicht, daß dem gesunden Knochen ein so ausgeprägtes Beharrungsvermögen innewohne, daß er selbst starken Schädigungen gegenüber seine ursprüngliche Gestalt bewahre.

Daß die bei primärer Erkrankung der Wirbelknochen vorhandene Verbiegung der Wirbelsäule vornehmlich auf Muskelzug zurückzuführen ist, darauf hat zuletzt noch Lehmann-Facius hingewiesen. Uebrigens macht Keck darauf aufmerksam, daß bei Skoliosen die Rippen der Konvexität verbreitert

werden, was er auf einen verstärkten Zug der Zwischenrippenmuskulatur zurückführt.

Bei den widersprechenden experimentellen Ergebnissen und den verschiedenartigen Deutungen, die hierher gehörige klinische Befunde erfuhren, habe ich in Gemeinschaft mit Herrn Professor Schubert eine neue Reihe von Experimenten durchgeführt.*)

1. Zunächst wurde bei wachsenden Tieren (drei Monate alten Hunden) der Schläfenmuskel einseitig durchtrennt. Zwei Tiere blieben am Leben und wurden, nachdem sie die normale Wachstumsgrenze erreicht hatten, getötet. An der operierten Seite, wo, wie die Autopsie ergab, der Muskel restlos entfernt war und sich auch keine Narbenstränge gebildet hatten, war die Schädelwölbung stärker ausgeprägt, der Jochbogen stärker gekrümmt, während der aufsteigende Ast des Unterkiefers gegenüber der Vergleichsseite verkürzt war.

2. Bei drei Kaninchen im Alter von sieben Wochen wurde der Masseter links vom Jochbogen und Unterkiefer abgelöst. Da es bei einem Tier zu einer eitrigen Kieferknochenentzündung kam, sind für die Untersuchung nur zwei Tiere verwertbar, die nach ihrem Auswachsen getötet wurden. Der Ausfall des Wangenkaumuskels äußerte sich in einem stärkeren Wachstum aller Zähne der linken Seite, besonders der unteren. Die obere Begrenzungslinie der Schneidezähne war nicht wagerecht, sondern fiel nach rechts schräg ab. Sonst war außer einer geringen Verschmälerung des Unterkiefers nichts Abweichendes wahrzunehmen.

---

*) Ueber einen Teil dieser Versuche, soweit sie die Frage der Zug- und Druckwirkung berührten, habe ich in einer gemeinsam mit Professor Schubert verfaßten Arbeit an anderer Stelle (Verhdl. d. Dtsch. Ges. f. Chir. 1927) berichtet.

3. Bei acht im Wachstumsalter befindlichen Kaninchen (6—10 Wochen) wurde in Uebereinstimmit den von G. Neubauer angestellten Versuchen die Nackenmuskulatur einseitig entfernt. Bei den nach 2—5 Monaten getöten Tieren fand sich eine ungleichmäßige Ausbildung der um das Hinterhauptsloch gelegenen Schädelanteile und zwar in dem Sinne, daß die operierte Seite im ganzen geringere Maße in Länge und Breite aufwies. Die Knochenvorsprünge und Leisten traten hier weniger hervor oder waren vollkommen abgeflacht.

Fasse ich die Ergebnisse dieser Experimente zusammen, so ist zunächst festzustellen, daß es durch Fortfall der Schläfenmuskulatur beim wachsenden Tiere wohl zu einer geringen Vorwölbung der Schädelknochen, nicht aber zu einer Zunahme ihrer Maße in Form einer Verdickung kommt. Die nach einseitiger Durchschneidung der Nackenmuskulatur zu beobachtende Asymmetrie ist insofern bemerkenswert, als sie einiges Licht wirft auf die herrschende Anschauung über das Zustandekommen der Schädelverkrümmung bei Schiefhals. Es blieb nämlich gerade die Seite im Wachstum zurück, bei der der Muskelzug in Fortfall kam, sodaß das Bild des Schiefhalses entstand, jedoch durch gerade die entgegengesetzte Ursache. Auffallend ist es, daß der Ausfall so großer und funktionell wichtiger Muskeln (Temporalis, Masseter, Nackenmuskeln) an den zugehörigen Knochen nur verhältnismäßig geringe Veränderungen hervorruft. Man hat darin einen weiteren Beweis dafür zu sehen, daß die Form eines gesunden Knochens in erster Linie von der ihm innewohnenden Gestaltungskraft beeinflußt wird und

nur nebenher von der Funktion oder Nichtfunktion der ansetzenden Muskeln.

> 4. Weiterhin wurden an acht Kaninchen im Alter von 7—8 Wochen die langen Rückenmuskeln einseitig etwa in der Hälfte ihrer Länge entfernt und die Tiere nach drei Monaten getötet. Bei vier Kaninchen fand sich an der Wirbelsäule keinerlei Verbiegung. Bei den vier übrigen Tieren konnte eine, wenn auch verschieden stark ausgeprägte Skoliose der Wirbelsäule nach der nicht operierten Seite festgestellt werden.

Diese letzten Befunde decken sich also mit den von Arnd gefundenen Ergebnissen. Es ist aber Frey zuzustimmen, daß die Wirbelsäule eine starke eigene formbildende Kraft besitzt, da in der Hälfte der Fälle die einseitige Entfernung einer so bedeutungsvollen Muskelgruppe ohne jeden Einfluß au die Stellung der Wirbelsäule blieb.

Ist also die Wirkung von Muskelzug auf die Form und Gestalt des wachsenden Knochens von nur untergeordneter Bedeutung, so galt es, auf experimentellem Wege sich Einblick darüber zu verschaffen, auf welche Weise Druck den wachsenden Knochen in seiner Form zu beeinflussen vermag.

Ehe ich auf die hierfür aufgestellten Theorien eingehe, möchte ich den sehr erheblichen Unterschied hervorheben, der zwischen der Einwirkung eines physiologischen und eines krankhaft gesteigerten Druckes besteht, da bis in die neueste Zeit bei Experimenten gerade dieser Unterschied nicht immer gebührende Berücksichtigung fand.

Mit dem Einfluß des Druckes der Weichteile beschäftigten sich zuerst die Versuche von Vrolik,

der ein Auge aus seiner Höhle herausnahm bzw. entleerte. Er sah darauf die Augenhöhle im ganzen kleiner und enger werden. Dieser Befund wurde von L. Fick, v. Gudden, Lesshaft und zuletzt von Wesely (bei Gelegenheit anderer Untersuchungen) bestätigt.

5. Ich erhielt dies Ergebnis ebenfalls an vier Kaninchen, denen ich im Alter von sieben Wochen einen Augapfel zerstörte.

Wenn Fick im Tierexperiment die das Schienbein umgebenden Muskeln entfernte und aus der dann auftretenden Verdickung des Schienbeins schloß, daß der Knochen nach dem Orte geringsten Widerstandes wachse, so bleibt dabei zu berücksichtigen, daß bei wachsenden Tieren allein der durch das Experiment gesetzte Reiz genügt, um den Knochen zu verdicken. Im übrigen konnte v. Gudden bei der Nachprüfung der Versuche nicht den von Fick erhobenen Befund bestätigen. v. Gudden entfernte auch Knochenstücke aus dem Schädel und fand, daß die benachbarten Knochen in die künstlich geschaffene Lücke hineinwuchsen, daß also offenbar die Schädelknochen untereinander in einem Spannungsverhältnis stehen. Anthony erhob den gleichen experimentellen Befund, ohne sich der Erklärung v. Gudden's ohne weiteres anschließen zu wollen. Mit Recht weist vor allem wohl Virchow darauf hin, daß die Tatsache des Zuwachsens einer künstlich geschaffenen Knochenlücke keineswegs als Folge geänderter Spannungsverhältnisse aufgefaßt werden könne, sondern daß es sich sehr wahr-

scheinlich um eine durch den Reiz des Operationsaktes zustande gekommene Knochenneubildung handele.

6. An elf wachsenden Kaninchen wurden die Versuche v. Gudden's nachgeprüft und zwar wurde das Scheitelbein einer Schädelhälfte möglichst vollständig entfernt. Nach 2—3 Monaten zeigten die Tiere noch die gleiche Knochenlücke deutlich, wenn auch bei einzelnen sich ein paar Lamellen knöchernen Gewebes in der Wunde gebildet hatten. Von einem Hinüberwachsen des anderen Scheitelbeins war jedoch an keinem Schädel etwas wahrzunehmen.

Die Befunde von Gudden's ließen sich also nicht bestätigen. Ich versuchte deshalb noch an anderen Stellen des Skeletts Aufschluß zu gewinnen über die gegenseitigen Beziehungen benachbarter Knochen.

7. Bei fünf Kaninchen im Alter von acht Wochen brach ich Stücke aus dem Jochbogen heraus, konnte aber viereinhalb Monate nach dem Eingriff irgend eine Abweichung nicht entdecken. Ebenso wenig war an vier Kaninchen, denen ich im Alter von acht Wochen Teile der Sitz- und Schambeinäste entfernt hatte, eine Abweichung des Knochenwachtums feststellen.

Zusammenfassend läßt sich aus den zuletzt angeführten Experimenten (6—7) der Schluß ableiten, daß die Knochen sich in ihrem gegenseitigen Wachstum kaum beeinflussen, falls nicht andere Momente (Wirkung der Schwere, Veränderung der Belastung u. a.) hinzukommen.

Für die Beurteilung des Einflusses, den verminderte oder vermehrte Belastung auf das Knochenwachstum hat, sind zunächst Versuche von Lesshaft

zu erwähnen, der am Kamm junger Hühner und vor dem Ohr von Kaninchen eine Last befestigte und glaubte, ein vermindertes Auswachsen des einen Scheitelbeins feststellen zu können. Soviel läßt sich mit Sicherheit aus den bisher vorliegenden experimentellen Ergebnissen schließen, daß der Knochen nur von seinen Epiphysenfugen aus wächst, nicht aber ein interstitielles Wachstum aufweist, daß also vermehrter oder verminderter Druck für das Wachstum nur insofern von Einfluß sein kann, als er unmittelbar oder mittelbar auf die Wachstumszonen einwirkt. Hüter und v. Volkmann hatten hinsichtlich der Beziehung zwischen Druck und Längenwachstum die bekannten Sätze aufgestellt, daß:

1. abnorm gesteigerter Druck das Knochenwachstum hemme;
2. verminderter Druck es fördere.

Dabei sollte zunehmender Druck gleichbedeutend sein mit Fortfall von Zugkräften, während Zug und verringerter Druck in ihrer Wirkung gleichzusetzen seien.

Als wesentliche Stütze der Hüter-Volkmann'schen Lehre werden gewöhnlich die Versuche von Jores angeführt, der auf den Dornfortsätzen der Wirbel mit Wasser oder Quecksilber gefüllte Säckchen befestigte und als Folge dieses längere Zeit andauernden Druckes eine Einschmelzung von Knochengewebe beobachtete. Diese an und für sich wichtige Feststellung kann aber, worauf Schubert aufmerksam machte, nicht ohne weiteres als Beweis dafür herangezogen werden, daß

auch ein in normaler Stärke einsetzender Druck das Knochenwachstum hindert. Insbesondere ist es nicht richtig, wie das W. Müller tut, in dem Fortfall eines physiologischen Druckes den Grund für ein vermehrtes Längenwachstum des Knochens zu sehen. Wenn Müller Glieder funktionell dadurch ausschaltete, daß er sie einnäht, und aus der nun festzustellenden Verlängerung des eingenähten Beines Rückschlüsse auf die geänderten Druckverhältnisse zieht, so übersieht er dabei den wachstumfördernden Reiz, der durch die mit dem Einnähen verbundene Zwangslage auf die Epiphysenzone ausgeübt wird.

Auch die weiteren Versuche Müllers, in denen bei Tieren Stücke aus der Speiche entfernt wurden und es nun infolge Mehrbelastung der Elle zu Wachstumsverkürzungen kam, berücksichtigen viel zu wenig die auf jeden feinsten Reiz ansprechenden Wachstumzonen, sodaß die Berechtigung, die im Experiment gefundene Verkürzung durch Aenderung des Druckes zu erklären, mehr als fraglich erscheinen muß. Zu beachten ist auch, daß bei den sehr ähnlichen Versuchen Martins es nach Durchtrennung der Speiche zur Pseudarthrose der Elle kam, die Martin wohl mit Recht als „sympatischen Knochenschwund" auffaßt, der mit Aenderung des Druckes kaum etwas zu tun hat. Ungerechtfertigt erscheint auch der Schluß, die bei einzelnen Fällen von spinaler Kinderlähmung festzustellende Verlängerung der gelähmten Gliedmaßen als Folge des Fortfalles von Druck und Muskelspannung aufzufassen.

(Neurath und Müller, Seeligmüller), da in sehr viel zahlreicheren Fällen die in gleicher Weise infolge der Lähmung druckentlasteten Gliedabschnitte im Wachstum zurückbleiben. Reschke schließt sich der Auffassung von Schubert an, daß alle derartigen Wachstumsanomalien durch Innervationsstörung der zu den Wachstumszonen tretenden Gefässe zu erklären sind, wobei es je nach dem Grade der Schädigung zu einer Verlängerung oder Verkürzung kommt oder aber die normale Länge des Gliedes erhalten bleibt.

Vielfach wurde in neuerer Zeit als Beweis für die Wirkung einer Druckentlastung, die zuerst von Haab beschriebene Verlängerung der Speiche bei Verrenkung des Speichenköpfchens herangezogen. Zunächst ist dazu zu bemerken, daß nach Bonn's genauen Messungen eine Verlängerung der Speiche in den meisten Fällen garnicht besteht, da bei der Verrenkung des Speichenköpfchens meist auch gleichzeitig die Elle gebrochen wird, die dann unter Verkürzung heilt. So erscheint die Speiche zu lang, ein Irrtum, der durch vergleichende Messungen der Knochen beider Seiten vermieden wird. Auch konnte Bonn bei Kaninchen durch künstliche Verrenkung der Speiche keine Verlängerung dieses Knochens erzielen. Die einzige, wenn auch geringfügige Förderung des Längenwachstums erreichte er durch vermeintliche Entlastung der Speiche bei Abtragung des Oberarmköpfchens.

Weiterhin macht Schubert auf den scheinbar wichtigen Unterschied von erworbener und an-

geborener Verrenkung aufmerksam, da bei einer in der Jugend zugezogenen Luxation eine Verlängerung der Speiche keineswegs die Regel ist, obgleich die gleiche Druckentlastung vorliegt.

Wenn es, wie das Reich feststellte, bei in jugendlichem Alter ausgeführter Gliedabsetzung häufig zu vermehrtem Wachstum des darüber gelegenen Gliedabschnittes kommt, z. B. bei Unterschenkelamputationen zu einer Verlängerung des Oberschenkels, so hat man auch darin nicht die Folge einer Druckentlastung des von der Absetzung betroffenen Gliedes zu sehen, sondern die Auswirkung eines von der Absetzungsfläche ausgehenden und die untere Epiphyse des Oberschenkels zu vermehrter Tätigkeit anregenden Reizes. (Schubert.) Auch die auffällige, gelegentlich hochgradige Verlängerung des Wadenbeines bei Unterschenkelabsetzungen spricht für die von Schubert vertretene Anschauung, da die durch die Verstümmelung bedingte Druckentlastung beide Knochen des Unterschenkels in gleichem Maße trifft und daher nicht die Ursache des vermehrten Auswachsens nur eines Knochens sein kann. Der Fortfall eines Druckes müßte sich also in einer gleichmäßigen Verlängerung aller Teile des Gliedes äußern, während ein Reiz je nach der Wertigkeit der Knorpelfuge, auf die er stößt, zu ganz verschiedenen Wirkungen an den einzelnen Gliedabschnitten führen kann.

So kommt es zwar, wie in früheren Versuchen von Schubert und in neueren gemeinsam von Schubert und mir durchgeführten Tierexperi-

menten dargelegt werden konnte, nach Absetzen des Unterschenkels zu einer starken Verlängerung des Oberschenkels, dessen Hauptknorpelfuge am Knie, also dem Reizangriffsort naheliegt. Eine Wachstumssteigerung des Oberarms war jedoch in gleichem Maße nicht festzustellen, da die wesentliche Wachstumszone des Oberarmknochens der entfernt liegenden, oberen Knorpelfuge angehört.

Vielleicht kann man sich damit erklären, warum Bonn zwar durch Abtragung des Oberarmköpfchens eine Verlängerung der Speiche erzielen konnte, während der Reiz einer künstlich gesetzten Verrenkung nicht zur Auslösung einer Wachstumssteigerung genügte.

Solche Reizwirkungen sind seit langem bekannt. Langenbeck sah nach Eintreiben von Elfenbeinstiften in einen Knochen eine Verlängerung auch des benachbarten Gliedabschnittes auftreten. Auch nach Einwirkung entzündungserregender Mittel auf die Knochenhaut konnte Ollier eine Wachstumssteigerung verzeichnen. Schubert und Reschke teilten ähnliche Beobachtungen nach Entnahme eines Schienbeinknochenspanes mit.

Bekannt sind die oft hochgradigen Verlängerungen der Röhrenknochen, die von einer osteomyelitischen Infektion ergriffen sind. Weiterhin wurden Wachstumsverlängerungen jugendlicher Knochen beobachtet bei Unterschenkelgeschwüren, angeborenen und erworbenen Kreislaufstörungen, Muttermälern u. a. m. Zuletzt hat Reschke eingehend alles darüber Bekanntgewordene zusammengestellt.

Ganz gewöhnlich ist die Beobachtung eines verstärkten Längenwachstums nach Knochenbrüchen Jugendlicher. Verkürzungen von einigen Zentimetern werden hierbei ausgeglichen oder in Verlängerung umgewandelt. Reschke fand bei Nachuntersuchungen an einer Reihe von Kindern, daß eine Verlängerung besonders eintrat bei langen Schraubenbrüchen, die bis in die Nähe der Knorpelfuge reichten. Bei kurzen Brüchen der Schaftmitte war sie nicht zu beobachten. Er sieht daher den Grund für die Verlängerung in der Annäherung der Bruchlinie, von der der Reiz ausgeht, an die Knorpelfuge. Auch nach Gelenkerkrankungen beobachtete man Wachstumssteigerungen des Knochens, wie Langenbeck nach tuberkulöser Kniegelenksentzündung. Daß es sich auch hierbei um die Wirkung stärkerer Durchblutung handele, ist nach Pels-Leusden unwahrscheinlich, da das tuberkulöse Granulationsgewebe im allgemeinen arm an Blutgefäßen ist.

In einer weiteren Reihe von Tierexperimenten versuchte ich nun mir darüber Klarkeit zu verschaffen, inwieweit Reizwirkung und inwieweit Druckentlastung für das Zustandekommen von Wachstumsunterschieden verantwortlich zu machen sind.

8. Bei acht Kaninchen im Wachstumsalter wurde der Unterschenkel beiderseits dicht unter dem Kniegelenk abgesetzt und zwar wurde auf der einen Seite eine möglichst reizlose Heilung angestrebt, indem der Knochenstumpf gut gedeckt und versorgt wurde, während der andere Stumpf unversorgt blieb. Der leitende Gedanke bei diesen

Versuchen war, festzustellen, ob sich zwischen der unversorgten Seite, von deren Wundfläche ein dauernder Reiz ausging, und dem gedeckten Stumpf ein Wachstumsunterschied herausstellen würde. Der druckentlastende Anteil wäre bei beiden gleich groß gewesen. Leider blieb diese Reihe ergebnislos, da auch der offene Stumpf wider Erwarten schnell heilte und die vergleichende Untersuchung Unterschiede nicht erkennen ließ.

9. Bei vier im Wachstumsalter befindlichen Kaninchen wurde eine schwere Schädigung des Hüftgelenks dadurch gesetzt, daß mit einer Knochenquetschzange der Oberschenkelkopf zerstört wurde.

Bei fünf weiteren Kaninchen wurde der Oberschenkel ausgerenkt.

Es war beabsichtigt, durch diese an und für sich verschiedenartigen Eingriffe ein und dieselbe Funktionseinschränkung und Druckentlastung des operierten Beines zu setzen. Das Ergebnis war ein sehr verschiedenes. Die Tiere mit zerstörtem Oberschenkelkopf wiesen eine starke Verkürzung des Oberschenkels durch Schädigung der oberen Knorpelfuge und ein ganz geringes Zurückbleiben der operierten Beckenhälfte auf, während die Unterschenkel gleich lang waren. An den Tieren, deren Oberschenkel ausgerenkt worden war, hatten die Oberschenkelknochen beiderseits vollkommen gleiche Länge, während eine geringe Verlängerung des Unterschenkels und der Beckenhälfte auf der Seite des Eingriffes festzustellen waren.

10. Bei vier wachsenden Kaninchen wurde das Schultergelenk zerstört, indem der Oberarmkopf zerquetscht wurde. Es zeigte sich hier ebenfalls ein starkes Zurückbleiben des geschädigten Oberarmknochens infolge Zerstörung der Hauptwachs-

tumszone, während die Unterarme völlig gleich lang, das Schulterblatt der operierten Seite sogar etwas verlängert und vergrößert war.

Das Ergebnis der letzten Versuche (9 und 10) läßt sich dahin zusammenfassen, daß die experimentell hervorgerufenen Wachstumsunterschiede keineswegs ihre Ursache in einer Druckentlastung haben.

Zusammenfassung.

1. Experimentelle Ausschaltung von Muskeln führt bei wachsenden Knochen nur zu geringgradigen Aenderungen der Form.
2. Besonders deutlich läßt sich das an der Wirbelsäule nachweisen, deren endgültige Gestalt weniger von den auf sie wirkenden Muskelkräften abhängt, als von ihrer eigenen formbildenden Kraft.
3. Auch die gegenseitige Wachstumsbeeinflussung benachbarter Knochen ist gering, wie das namentlich durch Versuche am wachsenden Tierschädel nachgewiesen werden konnte.
4. Veränderungen des Druckes sind für das Wachstum eines Knochens nur dann von Bedeutung, wenn der Druck krankhaft gesteigert wird, oder aber wenn der Knochen abnorm nachgiebig ist, nicht aber bei Fortfall des physiologischen Druckes.
5. Längenunterschiede wachsender Knochen nach Gliedabsetzungen beruhen demnach höchstwahrscheinlich nicht auf einem Fortfall des physiologischen Druckes, sondern auf einem von der Absetzungsfläche ausgehenden und auf die zurückbleibenden Wachstumszonen einwirkenden Reiz.

Schrifttum.

Anthony	Compt. rend. des Séances de l' Acad. des Sciences de Paris. 137. 2. 1903. 881.
Arnd	Arch. f. Orthp. u. Mechanoth. 1. 1903. 1.
Bonn	Arch. f. klin. Chir. 138. 1925. 602.
Brücke	Vorlesungen über Physiologie II. Wien 1873.
Engel	Untersuchungen über Schädelformen. Prag 1851.
L. Fick	Ueber die Ursachen der Knochenformen. Göttingen 1857.
"	Neue Untersuchungen über die Ursachen der Knochenformen. Marburg 1858.
Frey	Dt. Ztschr. f. Chir. 169. 1922. 13.
v. Frisch	Arch. f. klin. Chir. 98. 1912. 489;
v. Gudden	Experimental-Untersuchungen über das Schädelwachstum. München 1874.
Guérin	Traité des deviations latérales de l'espine par myotomie rachidiénne. Gaz. med. 1839.
Haab	Experimentelle Studien über das normale und pathol. Wachstum der Knochen. Leipzig 1875.
Hueter	Virchow's Arch. 25. 1862. 572; 26. 1863. 484.
Jores.	Zieglers Beiträge zur pathologischen Anatomie und allgemeinen Pathologie. 66. 1920. 453.
Keck	Ztschr. f. orthop. Chir. 46. 1925. 96.
Kirmisson	Des skolioses liées à la paralysie infantile. Revue d' orthopédie 1893.
Krukenberg	Ztschr. f. orthop. Chir. 25. 1910. 27.
Langenbeck	Berl. klin. Wochenschr. 26. 1869. 265
Lehmann-Facius	Frankf. Ztschr. f. Pathol. 33. 1926. 478.
Lesshaft	Virch. Arch. 87. 1882. 262

Martin	Arch. f. klin. Chir. 114. 1920. 664.
Messner	Nach Arnd.
W. Müller	Die normale und pathol. Physiologie des Knochens. Leipzig 1924.
„	Arch. f. klin. Chir. 55. 1897. 782.
G. Neubauer	Ztschr. f. Morph. 23. 1925. 411.
Neurath	Wien. Med. Presse 1901.
Nyström	Arch. f. Anthrop. 27. 1902. 211.
Ollier	Gaz. hebdom. de méd. et. chir. 35. 1873. Ref. Wien. Med. Wochenschr. 42. 1873.
Pels-Leusden	Dt. Ztschr. f. Chir. 51. 1899. 257.
Reich.	Bruns Beitr. z. klin. Chir. 68. 1910. 260
Reschke	Dt. Ztschr. f. Chir. 197. 1926. 292.
Schubert	Dt. Ztschr. f. Chir. 161. 1921. 80.
„	Arch. f. kl. Chir. 136. 1925. 369
Schulthess	Ztschr. f. orthop. Chir. 9. 1901. 6.
Seeligmüller	Zentr.-Bl. f. Chir. 1879. 465.
Virchow	Virch. Arch. 13. 1858. 323.
v. Volkmann	Krankh. d. Bewegungsorg. in Pitha-Billroths Chirurgie. II. 2. 1865-1872.
Vrolik	cit. nach Virch. Arch. 13. 1858. 338.
Wessely	Münch. Med. Wochenschr. 44, 1909. 2249
Zuckerkandl und Erben	Wien. Med. Wochenschrift. 43. 1898.

Lebenslauf.

Als Sohn des Fabrikbesitzers B a h l zu Danzig am 13. Juli 1904 geboren, besuchte ich das Kgl. Gymnasium dortselbst, wo ich am 15. März 1922 die Reifeprüfung ablegte. Ich wandte mich dem Studium der Medizin zu und studierte in Königsberg bis zur ärztlichen Vorprüfung, die ich im Sommersemester 1924 dort bestand.

Die Kliniken besuchte ich in Freiburg i. Br., München und Königsberg, wo ich am 8. August 1927 das Staatsexamen beendete.